

## Центрифугирование и псевдооживление

### ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ

Центрифуги нашли очень широкое применение на предприятиях пищевой и фармацевтической промышленности, а также в медицине, по сути дела вытеснив и отстойники, и фильтры.

Например, центрифуги применяются для сепарирования молока, крови, растительных масел, осветления душистых ингредиентов для пива, зеленого пива, фруктовых и овощных соков, вина, бочкового шампанского, сиропов, экстрактов чая и кофе, растворов инсулина, лечебной сыворотки, концентрирования и промывки дрожжей, идущих для выпечки хлеба, для пивоварения и кормовых дрожжей, а также пшеничного, кукурузного, картофельного, рисового и корневого крахмала, очистки и обезвоживания сливочного, оливкового, пальмового масел, а также рыбьего и китового жира и т.д.

Центрифуги классифицируются в первую очередь по фактору разделения:

$$K_p = \frac{W_R^2}{gR} = \frac{(W \cdot R)^2}{gR} = W^2 \frac{R}{g} = \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot \frac{R}{g} = \frac{\pi^2}{g} \cdot \frac{Rn^2}{900} \approx \frac{R \cdot n^2}{900}$$

/48/

где R – радиус ротора, м,

n – число оборотов ротора, об/мин.

### ЦЕНТРИФУГИ

Нормальные K <sub>p</sub> 3500		Сверхцентрифуги K <sub>p</sub> до 60000			Ультрацентрифуги K <sub>p</sub> до 1,2 млн.		
Фильтрующие		Осадительные		Осадительные		Осадительные	
Период.	Непрер.	Период.	Непрер.	Трубоч.	Сепараторы		Лаборат.
1, 2, 4	3, 5, 6, 8	1, 3, 4	6	Период.	Период.	Непр.	Период.
По выгрузке осадка.				1, 7	1, 7	7	1

### Выгрузка осадка

1. Ручная. 2. Гравитационная. 3. Инерционная. 4. Ножами. 5. Пульсирующим поршнем. 6. Шнеком. 7. Гидравлическая. 8. Вибрационная.

## Маркировка центрифуг

По принципу разделения:

осадительные /осветляющие/	– 0,
разделяющие /сепарирующие/	– Р,
фильтрующие	– Ф,
комбинированные	– К.

По расположению и виду ротора:

горизонтальные	– Г,
вертикальные	– В,
наклонные	– Н,
с упругой верхней опорой	– У,
трубчатые	– Т,
подвесные	– П,
маятниковые	– М.

По способу разгрузки:

ручная через борт	– Б,
ручная через днище	– Д,
ручная с разборкой	– Р,
кассетная	– К,
ножевая	– Н,
гравитационная /саморазгрузка/	– С,
шнековая	– Ш,
поршневая	– Д,
инерционная	– И,
вибрационная	– В,
вибрационно-поршневая	– Вп,
гидравлическая	– Г.

По типу металла ротора:

углеродистая сталь	– У,
легированная сталь	– Л,
коррозионно-стойкая сталь	– К,
титан	– Т,
цветные металлы	– М,
другие материалы	– С.

Например, центрифуга марки НОГШ – 500К – 5 расшифровывается:

- Н – нормальная,
- 0 – осадительная,
- Г – горизонтальная,
- Ш – шнековая выгрузка осадка,
- 500 – диаметр ротора в мм,
- К – коррозионно-стойкая сталь,
- 5 – номер модели.

В медицинской практике широко используются ультрацентрифуги, ротор которых вращается в вакуумной камере с остаточным давлением 0,001 мм рт. ст. Применяются для разделения белков, вирусов, пигментов, бульонов с бактериями и др. Размер вируса составляет 0,01 мкм. В настоящее время известны около 200 вирусов у человека и животных и столько же у растений.

Для выбора центрифуги необходимо знать:

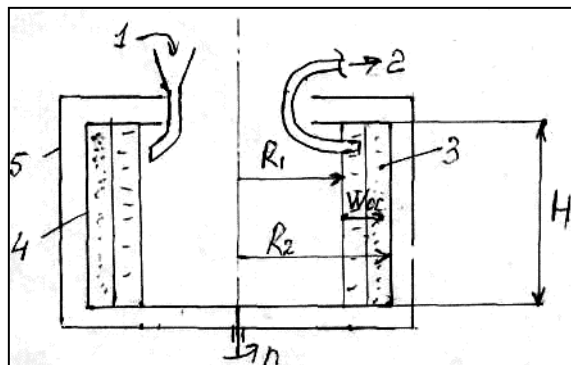
- а/ диаметр частиц,
- б/ концентрацию суспензии,
- в/ тип суспензии,
- г/ производительность.

### Производительность центрифуг

#### Осадительные

Схема центрифуги

представлена на рис. 62.



**Рис. 62.** Схема осадительной центрифуги.

1 – суспензия, 2 – фугат, 3 – осадок, 4 – ротор, 5 – кожух.

1. Рабочий объем центрифуги

$$V_p = \pi(R_2^2 - R_1^2) \cdot H \text{ м}^3 \quad /49/$$

2. Часовая производительность по суспензии:

$$V_{\text{час}} = 3600 \cdot \frac{V_p}{\tau_{\text{цикла}}}$$

/50/

3. Продолжительность цикла /пуск, осаждение, торможение, разгрузка/

$$\tau_{\text{цикла}} = \tau_{\text{п}} + \tau_{\text{ос.}} + \tau_{\text{т}} + \tau_{\text{р}} \quad /51/$$

4. Продолжительность осаждения.

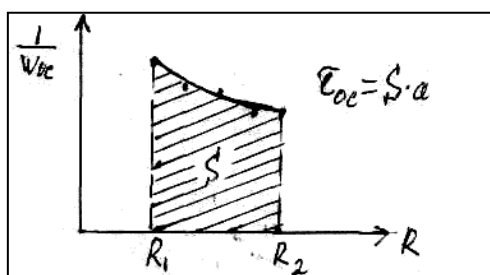
Скорость осаждения частиц

$$W_{\text{ос}} = \frac{dR}{d\tau} \quad /52/$$

Откуда

$$\tau_{\text{ос.}} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{1}{W_{\text{ос}}} \cdot dR = S \cdot a \quad /53/$$

Продолжительность осаждения по формуле /53/ определяется по графику, который представлен на рис. 63.



**Рис. 63.** График для определения продолжительности осаждения.

$S$  – площадь под кривой,  $a$  – масштаб графика.

Для оценки эффективности работы осадительных центрифуг применяется индекс производительности

$$\Sigma = F_{cp} \cdot K_p^n \quad /54/$$

где  $n = 1$  для ламинарного режима осаждения,

$$F_{cp} = \pi \cdot H \cdot (R_1 + R_2)$$

$\Sigma$  – поверхность отстойника, производительность которого одинакова с центрифугой.

Общий диапазон

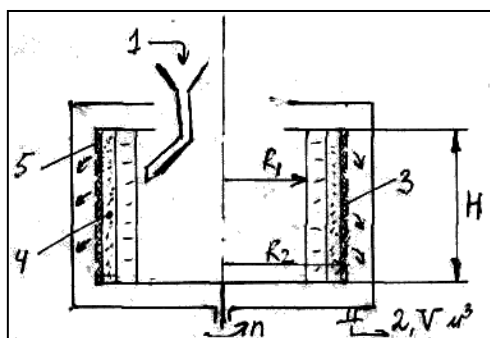
$$\Sigma = 50-100000 \text{ м}^2$$

Для трубчатых сверхцентрифуг  $\Sigma = 1350-2500 \text{ м}^2$

для сепараторов  $\Sigma = 5000-50000 \text{ м}^2$

#### Фильтрующие

Схема центрифуги представлена на рис. 64.



**Рис. 64.** Схема фильтрующей центрифуги.

1 – суспензия, 2 – фильтрат, 3 – ткань, 4 – осадок, 5 – ротор.

### 1. Часовая производительность центрифуги

$$V_{\text{час}} = 3600 \cdot V/\tau \text{ цикла}$$

где  $V$  – объем пропущенного фильтрата,  $\text{м}^3$ .

### 2. Продолжительность цикла /пуск – фильтрование – промывка – торможение – разгрузка/

$$\tau_{\text{цикла}} = \tau_{\text{п}} + \tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{т}} + \tau_{\text{р}}$$

### 3. Давление фильтрования

$$\Delta p_{\text{ц}} = \frac{G_{\text{ц}}}{F} = \frac{G_{\text{т}} \cdot K_{\text{р}}}{2\pi \cdot R_{\text{ср}} \cdot H} = \frac{\rho_{\text{сусп}} \cdot g \cdot \pi (R_2^2 - R_1^2) \cdot H \cdot R_{\text{ср}} \cdot n^2}{2\pi \cdot R_{\text{ср}} \cdot H \cdot 900} = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{\text{сусп}} \cdot (R_2^2 - R_1^2) n^2 \text{ Па} \quad /55/$$

### 4. Продолжительность фильтрования

$$\Delta p_{\text{ц}} = \text{const}; \quad R_{\text{ф.п.}} = 0, \quad \text{тогда } C = 0$$

Уравнение фильтрования принимает вид

$$q^2 = K \cdot \tau, \quad \text{откуда } \tau = \frac{q^2}{K}; \quad K = \frac{2 \cdot \Delta p_{\text{ц}}}{\mu \cdot r \cdot x} \quad /56/$$

### Прочность роторов центрифуг

Давление на стенку ротора

$$p = \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot W^2}{2} (R_2^2 - R_1^2) \quad \text{Па}, \quad /57/$$

может достигать 5 МПа.

Коэффициент заполнения ротора

$$\psi = \frac{(R_2^2 - R_1^2)}{R_2^2} \quad /обычно 0,5/ \quad /58/$$

Толщина стенки ротора

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{R_2 \cdot \lambda \cdot \psi \cdot \sigma_0}{2[\sigma - \sigma_0]} \quad \text{м} \quad /59/$$

где

$$\lambda = \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ст}}}; \quad \sigma_0 = \rho_{\text{ст}} \left( \frac{\pi \cdot n \cdot R_2}{30} \right)^2$$

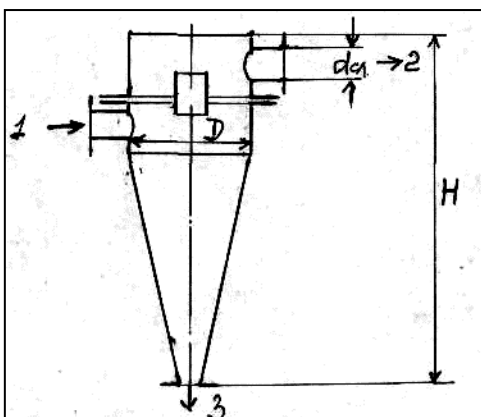
$\sigma$  – допускаемое напряжение /118 МПа /.

## ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ОСАЖДЕНИЕ

Разделение жидких неоднородных систем под действием центробежных сил осуществляется также в гидроциклонах. Принцип действия последних аналогичен циклонам.

Схема гидроциклона представлена на рис. 65.

гидроциклона



**Рис. 65.** Схема гидроциклона.

1 – суспензия, 2 – осветленная жидкость, 3 – шлам.

Обычные габариты гидроциклона  $D = 300-350$  мм,  $H = 1-1,2$  м /грубый классификатор/.

С диаметром  $D = 100$  мм и менее – сгуститель суспензии.

С диаметром  $D = 100-15$  мм – мультигидроциклоны – применяются для осветления тонких суспензий.

Разделяются частицы размеров 5-150 мкм.

Производительность

$$V = 3,19 \cdot d_{\text{сл}} \cdot D \cdot \sqrt{\Delta p} \quad \text{м}^3/\text{час}$$

/60/

где  $d_{\text{сл}}$  – диаметр сливного патрубка, м,

$D$  – диаметр корпуса, м,

$\Delta p$  – перепад давления в гидроциклоне, Па.

Достоинства: низкая стоимость, большая производительность, отсутствие вращающихся частей.